

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE UnB PLANALTINA**

**GABRIELA COSTA DOS SANTOS**

**BALANÇO HÍDRICO NA REGIÃO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ÁGUAS  
EMENDADAS NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE JANEIRO DE 2013 E  
DEZEMBRO DE 2017**

**PLANALTINA-DF**

**2018**

GABRIELA COSTA DOS SANTOS

**BALANÇO HÍDRICO NA REGIÃO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE  
ÁGUAS EMENDADAS NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE  
JANEIRO DE 2013 E DEZEMBRO DE 2017**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Gestão Ambiental,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de bacharel em Gestão Ambiental.

Orientador: Dr. Carlos Tadeu Carvalho do  
Nascimento.

Planaltina – DF

2018

## FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, Gabriela Costa dos

Balanço hídrico na região da Estação Ecológica de Águas Emendadas no período compreendido entre janeiro de 2013 e dezembro de 2017. / Gabriela Costa dos Santos.

Planaltina – DF, 2018. 42f.

Monografia – Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento.

1 - Esecae. 2 – Balanço hídrico. 3 – Precipitação. 4 – Evapotranspiração;. 5 - Deficiência hídrica. 6 – Excedente hídrico. I – Santos, Gabriela Costa.

GABRIELA COSTA DOS SANTOS

**BALANÇO HÍDRICO NA REGIÃO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE  
ÁGUAS EMENDADAS NO PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE JANEIRO  
DE 2013 E DEZEMBRO DE 2017**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Banca Examinadora:

Planaltina-DF, 21 de junho de 2018

---

Dr. Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento – UnB/Campus  
Planaltina

---

Dr. Irineu Tamaio – UnB/Campus Planaltina

---

Dr. Rômulo José da Costa Ribeiro – UnB/Campus Planaltina

*“Eu não sou quem eu gostaria de ser;  
Eu não sou quem eu poderia ser, ainda;  
Eu não sou quem eu deveria ser;  
Mas graças a Deus eu não sou mais quem eu era!”*

*(Martin Luther King)*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por essa conquista e peço a ele sabedoria e força para conquistar muito mais.

A Universidade de Brasília, bem como aos professores que me proporcionaram esses quatro anos de aprendizado.

Agradeço em especial ao meu orientador, Dr. Carlos Tadeu, que me auxiliou em todas as etapas deste trabalho. Obrigada pelas muitas horas produtivas, paciência e dedicação.

Ao meu pai, Martiniano, por sempre me dar o suporte necessário para enfrentar as dificuldades. A minha mãe, Jozeane, minhas irmãs, Daniela e Laura, e toda minha família por ser a base do que hoje eu sou.

A Pedro Ciciliano, por todo o apoio, companheirismo e amor nesses últimos semestres de faculdade, além do incentivo para que este trabalho fosse finalizado.

A Menelle Pires, por ser minha irmã de alma e viabilizar parte desse trabalho e de tantos outros durante nossa graduação.

A todos os amigos e colegas com quem tive o prazer e a felicidade de dividir tantos momentos e viagens que participaram da minha construção e evolução como pessoa.

Muito obrigada todos que, direta ou indiretamente, participaram dessa conquista.

## RESUMO

A Estação Ecológica de Águas Emendadas – Esecae é uma unidade de conservação diretamente relacionada com a água, em função do fenômeno que originou a sua criação: as águas que ali brotam, numa vereda de seis quilômetros de extensão, correm em duas direções opostas. A gestão da água, em si, é uma questão que demanda grande atenção por parte da sociedade, ainda mais em se tratando de uma estação ecológica. Nesse contexto, o balanço hídrico é um instrumento para que se tenha conhecimento sobre a real situação dos recursos hídricos. O presente trabalho teve por objetivo analisar dados meteorológicos bem como realizar o cálculo do balanço hídrico na região da Esecae, durante um período de cinco anos (2013 – 2017), buscando caracterizar a situação hídrica conforme os dados obtidos. O método empregado foi o balanço hídrico normal, utilizando dados pluviométricos e de temperatura, calculado em planilha eletrônica por meio do programa BHnorm. Nos anos do estudo, a região se caracterizou por precipitação total anual média de 1.276,6mm, com distribuição sazonal das chuvas com duas estações climáticas bem definidas: chuvosa e seca. Quanto à evapotranspiração, verificou-se sua relação direta com a precipitação. Em relação à excedência (EXC) ou deficiência hídrica (DEF), foram averiguados valores de excedente hídrico superiores aos déficits. Considerando-se os cinco anos, foram somados 2.743,6mm de EXC e 1.395,5mm de DEF. A região se caracterizou por períodos de excedentes densos seguidos por períodos longos de déficit hídrico.

**Palavras-chave:** Esecae; Balanço hídrico; Precipitação; Evapotranspiração; Deficiência hídrica; Excedente hídrico.

## ABSTRACT

The Estação Ecológica de Águas Emendadas – Esecac is a conservation unit directly related to water, due to the phenomenon that originated its creation: the waters that flow there, in a path of six kilometers in length, run in two opposite directions. Water management, in itself, is an issue that demands great attention from society, especially in the case of an ecological station. In this context, the water balance is a tool for understanding the real situation of water resources. The present work had as objective to analyze meteorological data as well as to perform the calculation of the water balance in the Esecac region, during a period of five years (2013 - 2017), seeking to characterize the water situation according to the data obtained. The method used was the normal water balance, using pluviometric and temperature data, calculated in spreadsheet through the program BHnorm. In the study years, the region was characterized by total annual rainfall of 1,276.6mm, with seasonal distribution of rainfall with two well defined climatic seasons: rainy and dry. As for evapotranspiration, its direct relationship with precipitation was verified. In relation to the exceedance (EXC) or water deficit (DEF), values of water surplus were higher than the deficits. Considering the five years, 2,743.6mm of EXC and 1,395.5mm of DEF were added. The region was characterized by periods of dense surpluses followed by long periods of water deficit.

**Keywords:** Esecac; Hydric balance; Precipitation; Evapotranspiration; Water deficit; Water surplus.



## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	9
2.	OBJETIVOS.....	13
3.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
4.	METODOLOGIA.....	22
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
	REFERÊNCIAS.....	37
	APÊNDICE 1.....	41
	APÊNDICE 2.....	42

## 1. INTRODUÇÃO

A Estação Ecológica de Águas Emendadas – Esecae é uma região de grande importância hídrica, onde nascem águas que vertem em direção a duas grandes bacias do continente sul-americano, a bacia do Rio Tocantins e a do Rio da Prata. A estação foi criada pelo decreto nº771 de 12 de agosto de 1968, que trata do estabelecimento da Reserva Biológica de Águas Emendadas.

A Esecae está inserida no nordeste do Distrito Federal, na Região Administrativa de Planaltina – RA VI, estando aproximadamente 50km distante de Brasília e 5km distante do centro de Planaltina, com área de 10.547 hectares (Figura 1.1). A estação ecológica possui divisão arbitrária em partes norte e sul, marcada pela divisa entre as bacias hidrográficas dos rios Maranhão e São Bartolomeu, estando inserida em uma região onde faz limites com manchas urbanas e propriedades rurais (CARVALHO, 2008). Desta forma, a unidade de conservação em questão se encontra hoje cercada pela pressão antrópica e sem corredores ecológicos que ajudem a manter a biodiversidade (Figura 1.2).

A Estação Ecológica de Águas Emendadas é uma unidade de conservação diretamente relacionada com recursos hídricos, em função do fenômeno que originou a sua criação. As águas que ali brotam, numa vereda de seis quilômetros de extensão, correm em duas direções opostas: para o norte e para o sul. O Córrego Vereda Grande, toma o rumo norte e deságua no Rio Maranhão, afluente do Rio Tocantins, que ruma até Belém do Pará. Nesse percurso, essas águas banham o Distrito Federal e os estados de Goiás, Tocantins, Maranhão e Pará. Já o Córrego Brejinho toma o rumo sul, desaguando no rio São Bartolomeu, prosseguindo em direção aos rios Corumbá e Paranaíba, cujas águas desembocam no Rio Paraná e na Bacia do Rio da Prata (MACHADO, 2008).

Além da situação excepcional de verter para duas diferentes bacias, a Esecae é ainda divisora de água dessas bacias, que atravessam a Vereda Grande, estando conectadas em um único local. Essa vereda origina dois



A água, hoje considerada bem escasso e muitas vezes de difícil acesso, é uma questão política que necessita de maior atenção por parte da humanidade. O Brasil, segundo a Agência Nacional das Águas – ANA, é o maior detentor de água doce do Planeta, contendo 12% desse total (ANA, 2015). Entretanto, a grande quantidade de reservas hídricas não garante situação de conforto para todos os seus habitantes, sendo que boa parte do país tem de lidar com a chamada “crise hídrica”, incluindo constantes episódios de racionamento.

O problema relacionado ao déficit de água, anos atrás apenas associado ao Nordeste do país, considerada a região mais seca, passou na última década a não ser mais tão restrito quanto se imaginava. A escassez desse recurso é hoje uma questão que assola todo o país, materializando entre os habitantes que a visão de água como recurso finito é emergencial. Tendo em vista a grande reserva de água doce existente no Brasil, é espantosa a existência de 917 municípios em crise hídrica, até 13 de março de 2018, dado informado pelo ministro da Integração Nacional, Helder Barbalho, ao participar do 8º Fórum Mundial da Água.

Apesar de muito se especular sobre as efetivas causas dessa seca, acredita-se que fatores como mudanças climáticas globais, aumento da demanda populacional, escassez de chuva, inadequado gerenciamento dos recursos hídricos por parte do Estado, além da sociedade e seu modelo econômico degradador, formam a crise hídrica. Essa situação deixa clara a importância de ações de planejamento e gestão hídrica de forma sustentável.

A Estação Ecológica de Águas Emendadas se localiza no Cerrado brasileiro, bioma onde é primordial que se faça uma gestão hídrica eficaz. Como ocupa as partes mais altas das bacias hidrográficas, impactos causados nos corpos hídricos do Cerrado podem ser propagados por grandes extensões, risco intensificado pelas diversas nascentes aí localizadas.

Nesse contexto, o balanço hídrico é um instrumento para que se tenha conhecimento e domínio sobre a real situação dos recursos hídricos. O cálculo é realizado por meio de um computo de entradas e saídas de água em um determinado sistema. Em uma escala local, o balanço hídrico tem por objetivo

estabelecer a variação de armazenamento e consequente disponibilidade de água, se caracterizando como um instrumento de gestão de recursos hídricos.

Neste trabalho, o cálculo é feito por meio do método de Balanço Hídrico Normal de Thornthwaite & Mather (1955). Após sua aplicação é possível conhecer a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico, e o total de água retida no solo em cada período.

O método empregado permite retratar as peculiaridades das grandezas comparadas, fornecendo subsídio à gestão integrada dos recursos hídricos, podendo inclusive ser utilizado como indicativo dos conflitos hídricos atuais e futuros (PGIRH, 2012). Conhecendo a disponibilidade de água, de fato fica teoricamente mais fácil articular adequadamente os planos de gestão hídrica, evitando vivenciar situações de crise.

Desta forma, o cálculo de balanço hídrico, bem como estudos sobre disponibilidade hídrica são peças chave em Gestão Ambiental. Tal conhecimento fornece informações importantes no que diz respeito à monitoração da dinâmica hidrológica, possibilitando a adoção de medidas preventivas e demais iniciativas que garantam a preservação e gerenciamento sustentável da água.

## **2. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GERAL**

Realizar o cálculo do balanço hídrico na região da Estação Ecológica de Águas Emendadas, durante um período de cinco anos (2013-2017).

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar dados meteorológicos que viabilizem o cálculo do balanço hídrico na região da Esecae.
- Analisar a situação hídrica conforme os dados obtidos.
- Fornecer elementos para futuros estudos sobre disponibilidade hídrica na área de estudo.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Fisicamente, o Brasil é dividido em regiões, estando o fenômeno das águas emendadas da Estação em estudo, inserido na região Centro-Oeste. Atualmente, a região é formada pelos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e pelo Distrito Federal. O Centro-Oeste representa aproximadamente 18,8% da área do Brasil (1.612.077 km<sup>2</sup>), localizado entre as latitudes 7,5° e 23° ao sul do Equador e as longitudes 65° e 45° a oeste de Greenwich (CARVALHO, 2008).

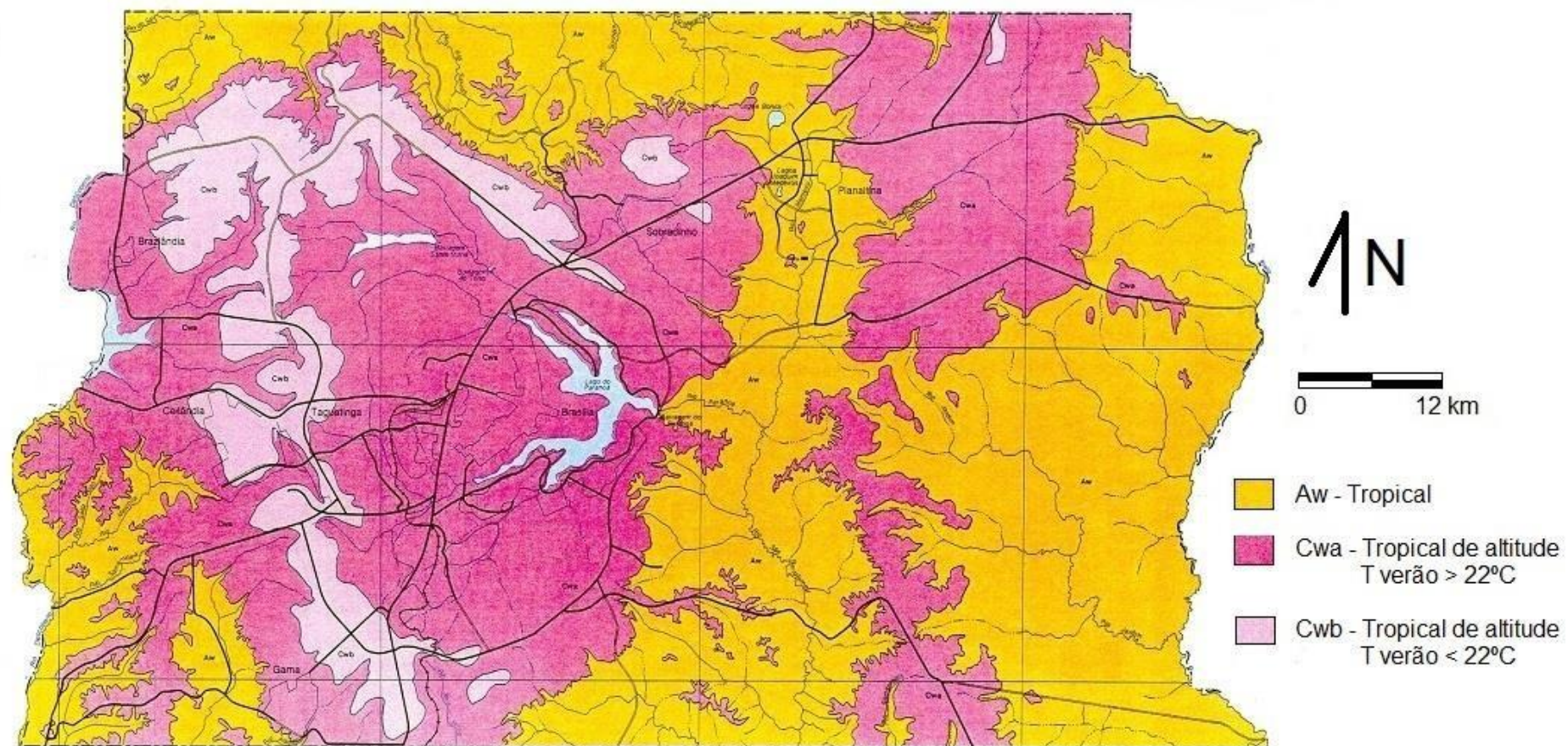
A região abrange a maior parte do Planalto Central, tendo seu relevo caracterizado pela predominância de terrenos antigos e aplainados pela erosão, que deram origem aos chapadões (CARVALHO, 2008). Segundo Martins et al. (2004), a compartimentação geomorfológica apresentada separa pediplanos, superfícies residuais de aplainamento nas cotas mais elevadas, depressões interplanálticas e planícies.

O Distrito Federal está inserido no bioma Cerrado, com clima tropical Aw, correspondente a clima de savana, e Cw, correspondente a tropical de altitude (Figura 3.1). A região é marcada por sazonalidade e sua precipitação varia de 750mm/ano a 2000mm/ano, registrada cerca de 90% entre outubro e março. A Estação Ecológica de Águas Emendadas, localizada na porção nordeste do Distrito Federal, é caracterizada, segundo a classificação de Koppen, como de clima tropical com precipitação pluviométrica concentrada no verão, sendo novembro, dezembro e janeiro os meses mais chuvosos (MAIA e BAPTISTA, 2008).

Dentro da Estação Ecológica de Águas Emendadas, pode-se observar a presença dos dois tipos climáticos, Aw e Cw. O tipo climático Tropical Aw se encontra associado às superfícies bastante dissecadas da bacia hidrográfica do Rio Maranhão. O Tropical de altitude (Cw) pode ser diferenciado em Cwa, em altitudes entre 1000 e 1200 metros, e Cwb, associado a áreas com cotas altimétricas acima de 1200 metros (MAIA e BAPTISTA, 2008).



Figura 3.1 – Mapa de Clima do Distrito Federal. Fonte: CODEPLAN, 1984.





Sentelhas et al. (1999), desenvolveram um trabalho no qual foi construído um banco de dados climáticos do Brasil. Nesse estudo, os autores utilizaram as normais climatológicas (média histórica de trinta anos de um dado local) de cada unidade federativa do país. Desta forma, analisar normais climatológicas de, no mínimo três décadas, constitui uma boa forma de conhecer dados climáticos referentes ao local de estudo. Com base na normal climatológica do Distrito Federal de 1961-1990, as temperaturas médias registradas na Estação Brasília, variam de 22,7°C, no mês de setembro a 18,3°C, no mês de julho (Figura 3.2).

Em relação à precipitação, o período de estiagem vai de abril/maio a setembro/outubro, formando as duas estações conhecidas como verão chuvoso e inverno seco. O volume médio precipitado registrado pela Estação Brasília na normal climatológica do DF de 1961-1990 (Figura 3.3), apresentou forte variação, indo de 8,7mm no mês mais seco (junho) a 247,4mm no mês mais chuvoso (janeiro).

Continuando a análise dos elementos físicos da área em que se insere a Esecac, a hidrografia do Cerrado brasileiro merece papel de destaque. Grandes bacias hidrográficas, nacionais e transfronteiriças, possuem suas partes mais altas localizadas no Planalto Central brasileiro, região inserida no bioma em questão, onde diversos rios nascem e, na medida em que seguem em direção ao mar, ganham em volume, abastecendo grande parte do Brasil e de outros países sul-americanos (LIMA e SILVA, 2008).

A Estação Ecológica de Águas Emendadas está localizada na parte central do Brasil, possuindo nascentes que vertem para duas grandes bacias. Os cursos d'água dali provenientes integram uma rede de demais cursos que tomam destinos opostos. Parte das águas encontra o Oceano Atlântico, no extremo norte do país, na foz do Rio Tocantins. Outra parte segue para o sul até desaguar na divisa entre a Argentina e o Uruguai, no estuário do Rio da Prata (LIMA e SILVA, 2008).

Figura 3.2 – Gráfico de temperatura média do Distrito Federal (1961-1990). Fonte: INMET.

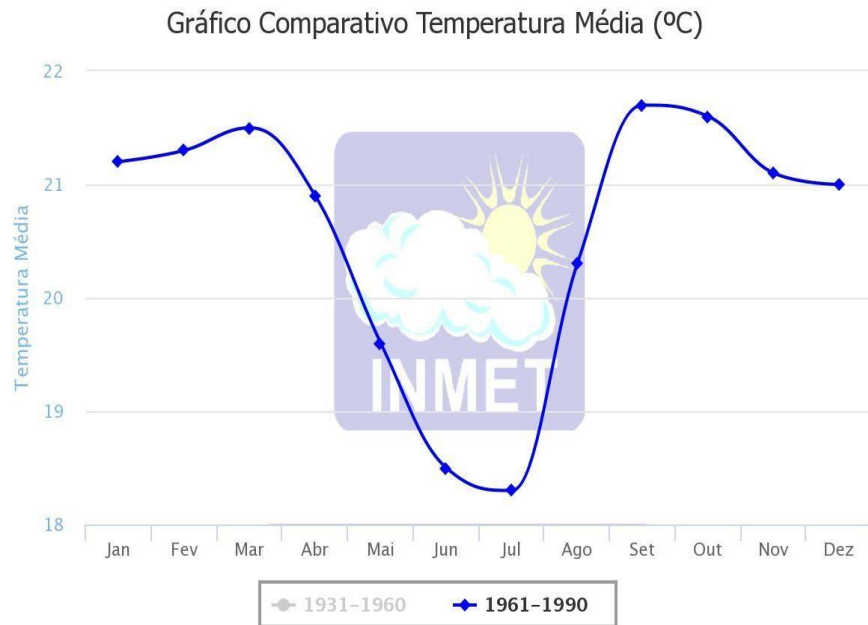
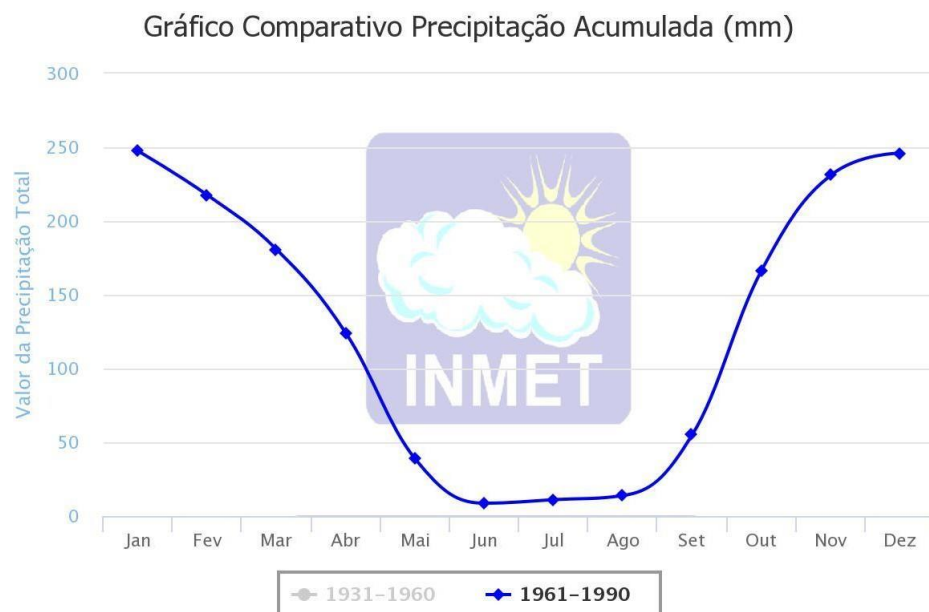


Figura 3.3 – Gráfico de precipitação no Distrito Federal (1961-1990). Fonte: INMET.



Em se tratando de bacia hidrográfica, temos que esta é a unidade básica de integração dos vários aspectos que interferem no uso dos recursos hídricos.

A bacia hidrográfica permite essa abordagem integrada, e segundo Yassuda (1993), é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural. Seu recorte territorial se tornou, portanto, base para a gestão de recursos hídricos.

Borsato e Martoni (2004) definem bacia hidrográfica:

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise no ciclo hidrológico, principalmente na sua fase terrestre, que engloba a infiltração e o escoamento superficial. Ela pode ser definida como uma área limitada por um divisor de águas, que a separa das bacias adjacentes e que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes. Por meio de uma rede de drenagem formada por cursos d'água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, seu único ponto de saída.

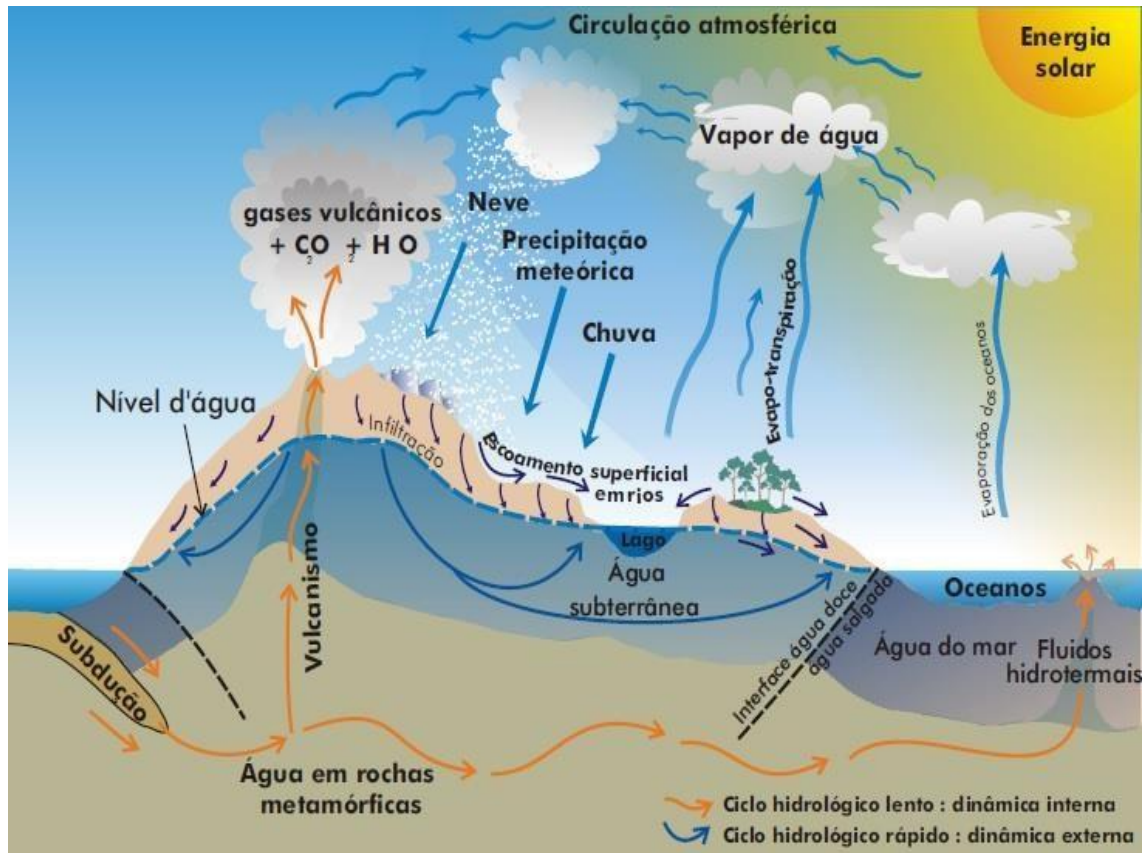
A bacia pode ser então considerada um ente sistêmico onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório. Assim, é uma unidade que permite computar dados do ciclo hidrológico (Figura 3.4). Este fenômeno pode ocorrer em dois sentidos: vertical e longitudinal. O vertical é representado pelos processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo, enquanto que o longitudinal pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do subsolo (escoamento subterrâneo) (TUCCI e MENDES, 2006).

Nesse contexto, surge a importância do balanço hídrico, sendo o balanço de volumes na bacia calculado com base nos processos verticais.

Em síntese, o cálculo consiste em contabilizar a evapotranspiração em relação à precipitação, considerando uma determinada capacidade de armazenamento de água no solo (OLIVEIRA et al., 2007). Uma das formas de realizar o cálculo do balanço hídrico é o balanço hídrico sequencial, onde são

utilizados dados diários e calculada a evapotranspiração potencial, obtida por meio do método de Thornthwaite & Mather (MESQUITA, 2016).

Figura 3.4 – Ciclo da água. Fonte: KARMANN, 2008.



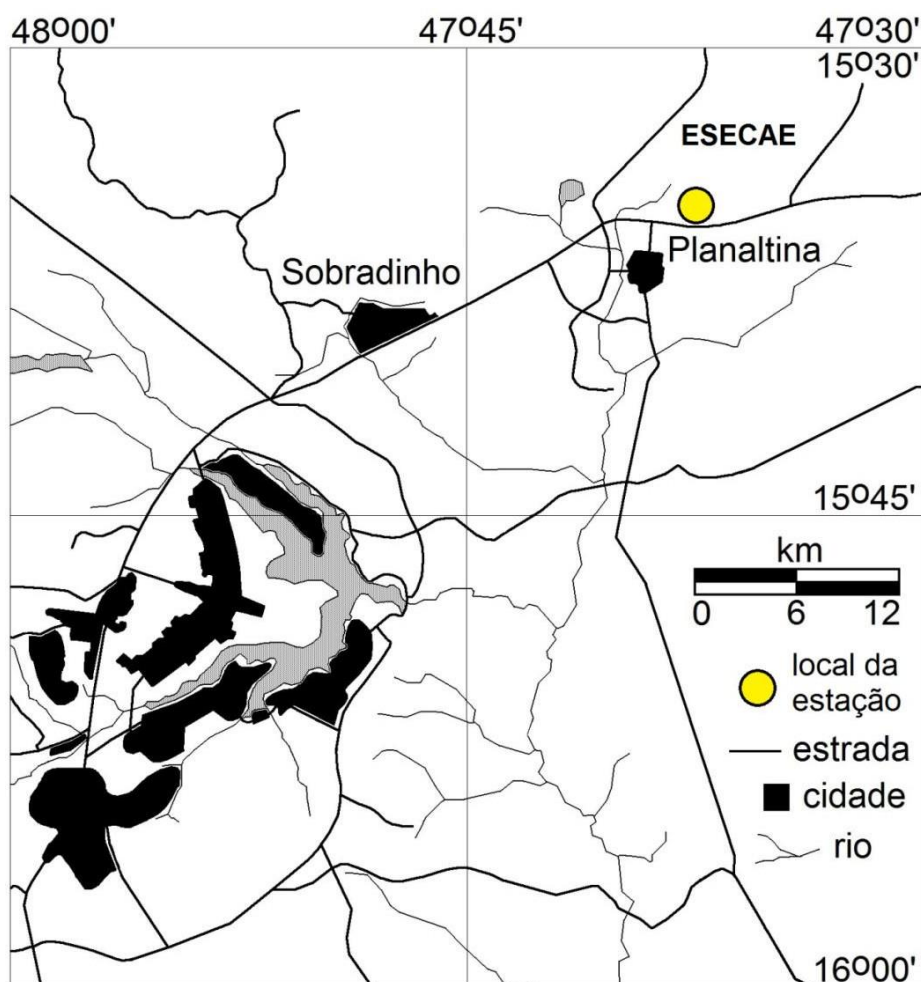
Especificamente, o modelo elaborado por Thornthwaite & Mather é usado para determinar o regime hídrico de um local sem necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração são necessários três dados: o armazenamento máximo no solo (CAD - Capacidade de Água Disponível), a medida da chuva total (P), e também as médias de temperatura (T) em cada período. O Balanço Hídrico Sequencial permite deduzir a evapotranspiração real (ETR), a deficiência (DEF) ou o excedente hídrico (EXC), e o total de água retida no solo em cada período (ARM) (PEREIRA, 2005).

ão utilizados neste trabalho dados de temperatura média mensal (T) e de chuva total mensal (P), pertencentes às redes de estações meteorológicas do

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, referentes à Estação Meteorológica Águas Emendadas. A Estação, que teve início da operação em 02/10/2008, localiza-se dentro da Esecae, sendo suas coordenadas latitude - 15.596491, longitude - 47.625800, e altitude de 1030 metros (Figura 3.5).

Os dados referentes à Estação Meteorológica Águas Emendadas foram utilizados na elaboração do balanço hídrico climatológico, empregando-se o método de Thornthwaite & Mather, através do programa “BHnorm” elaborado em planilha EXCEL por Rolim et al. (1998).

Figura 3.5 – Localização da Estação. Fonte: NASCIMENTO e ALMEIDA, 2015.



O cálculo referente à Estação Ecológica de Águas Emendadas se dá em consequência de questões como crescimento populacional desenfreado, ocupação desordenada e o problema de abastecimento de água, enfrentados pela área metropolitana do Distrito Federal. Conforme Fisch e Horikosh (2007), a disponibilidade de água possibilita o desenvolvimento social, sendo assim fundamental analisar a disponibilidade hídrica atual do DF, a qual serve de base para futuros atos de gestão.

No atual cenário de incertezas do ponto de vista da segurança na oferta de água, destaca-se a importância do planejamento estratégico voltado ao tema, o qual possibilite minimizar os impactos causados pelo adensamento populacional do Distrito Federal (MESQUITA, 2016). Segundo Tundisi (2006), é fundamental que haja uma integração entre o conhecimento científico adquirido e o gerenciamento, de forma efetiva, para que seja possível uma gestão mais eficiente.

## 4. METODOLOGIA

### DEFINIÇÃO DO MÉTODO

O cálculo do balanço hídrico consiste na somatória das quantidades de água que entram e saem de uma certa porção de solo em um determinado espaço de tempo. Os balanços hídricos têm sido utilizados para estimar parâmetros climáticos, como é o caso do Balanço Hídrico de Thornthwaite & Mather.

Este método tem sido amplamente utilizado por possibilitar a previsão do armazenamento de água no solo, utilizando estimativas de evapotranspiração real, déficit hídrico e excedente hídrico. Para o cálculo, se considera que a taxa de perda de água por evapotranspiração varia linearmente com o armazenamento de água no solo (Tomasella e Rossato, 2005).

Em síntese, a diferença entre a quantidade que entra e a que sai do mesmo sistema é igual à variação do armazenamento de água, o que pode ser verificado na equação abaixo:

$$E - S = \Delta A$$

Em que,

E = entrada de água no sistema;

S = saída de água do sistema;

$\Delta A$  = variação do armazenamento de água neste sistema.

Considerando apenas os movimentos verticais do ciclo hidrológico, a entrada de água é feita em forma de precipitação (P), e as saídas são evapotranspiração (ETR) e água percolada (EXC), podendo a equação ser reescrita da forma abaixo:

$$P - (ETR + EXC) = ALT$$

Em que:

P = precipitação média mensal (mm);

ETR = evapotranspiração real média mensal (mm);

EXC = excessos hídricos, representando a percolação abaixo do sistema radicular (mm);

ALT = alteração da umidade do solo (ARM), do último dia do mês anterior para o último dia do mês em questão.

## **OBTENÇÃO DE DADOS**

Os dados da Estação Meteorológica Águas Emendadas no período compreendido entre janeiro de 2013 e dezembro de 2017, foram obtidos por meio da página do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Esses dados (temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento e precipitação) foram tabulados em planilha eletrônica visando a determinação de valores médios de temperatura e dos totais acumulados de precipitação.



## CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO

Os balanços hídricos foram calculados em planilha intitulada Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955), elaborada por Rolim et al. (1998). Para efeito de cálculo, é considerada uma capacidade de água disponível (CAD) de 100mm, com a evapotranspiração potencial (ETP) sendo estimada pelo método de Thornthwaite (1948).

O método de Thornthwaite foi desenvolvido para dias com 12 horas de brilho solar e mês com 30 dias. Seu cálculo é feito da seguinte forma:

$$ETP = F_c \cdot 16 \cdot \left( 10 \cdot \frac{T}{I} \right)^a$$

Onde:

ETP = Evapotranspiração potencial (mm/mês)

$F_c$  = Fator de correção em função da latitude e mês do ano;

$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 0,01791 \cdot I + 0,492$  (mm/mês)

$I$  = índice anual de calor, correspondente a soma de doze índices mensais;

$T$  = Temperatura média mensal (°C).

O cálculo do índice anual de calor se dá por:

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1,514}$$

O  $F_c$  é valor tabelado em função da latitude, fotoperíodo e número de dias do mês (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Fator de correção conforme a metodologia de Thornthwaite em função dos meses do ano. Fonte: UNESCO, 1982

Latitude	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
10N	0,98	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
5N	1,00	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
0	1,02	0,94	1,04	1,01	1,01	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5S	1,04	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10S	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15S	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20S	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
25S	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
30S	1,20	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
35S	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,17	1,25
40S	1,27	1,06	1,07	0,93	0,85	0,78	0,84	0,92	1,00	1,15	1,20	1,29

Foram inseridos na planilha a temperatura média mensal e precipitação total mensal. As entradas são calculadas fazendo uma média das temperaturas instantâneas e soma das chuvas, dados disponibilizados pelo Bando de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Exemplo de entrada de dados, planilha referente a 2017

A1											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		Balanco Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955)									
3		Glauco de Souza Rolim									
4		Paulo Cesar Sentelhas									
5		Departamento de Física e Meteorologia ESALQ-USP									
6		BHnorm V4.0 1998									
7											
8		CIDADE	Planaltina			LATITUDE	-15,50				
9											
10		CAD (mm)	100			ANO	2017				
11		Comentários :									
12		Cálculos OK!									
13											
14											
15		PLANILHA DE ENTRADA DOS DADOS									
16		Meses	Num de dias	T oC Atual	P mm	N horas	I	a		ETP Thornthwaite 1948	
17											
18											
19		Jan	30	21,52	270,40	12,90	9,11	2,52		86,87	
20		Fev	28	22,56	129,40	12,68	9,79	2,52		89,74	
21		Mar	31	22,07	208,20	12,32	9,47	2,52		91,36	
22		Abr	30	29,95	89,20	11,87	15,03	2,52		183,63	
23		Mai	31	20,20	26,00	11,45	8,28	2,52		67,92	
24		Jun	30	19,78	47,60	11,15	8,02	2,52		60,70	
25		Jul	31	19,31	0,00	11,09	7,73	2,52		58,74	
26		Ago	31	20,58	1,00	11,30	8,52	2,52		70,28	
27		Set	30	22,06	46,60	11,70	9,46	2,52		83,84	
28		Out	31	22,08	151,40	12,14	9,47	2,52		90,12	
29		Nov	30	21,61	211,20	12,57	9,17	2,52		85,53	
30		Dez	31	21,42	343,40	12,86	9,05	2,52		88,41	
31											

Como resultado, as planilhas apresentaram as estimativas da evapotranspiração real (ETR), armazenamento de água no solo (ARM), deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC), na escala mensal para os cinco anos do estudo (2013-2017), além de diversos gráficos envolvendo essas variáveis.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do Balanço Hídrico Normal, obtido no programa BHnorm, para a Estação Meteorológica de Águas Emendadas é apresentado em gráficos (Figuras 5.1 a 5.5) permitindo a visualização da variação dos dados durante os meses do ano e durante os cinco anos do estudo (2013, 2014, 2015, 2016 e 2017).

Figura 5.1 – Balanço Hídrico Normal Mensal referente ao ano de 2013.

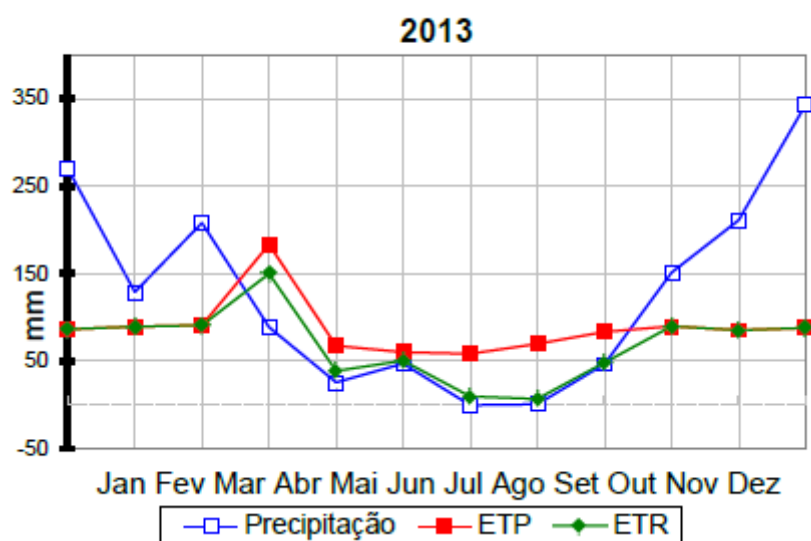


Figura 5.2 – Balanço Hídrico Normal Mensal referente ao ano de 2014.

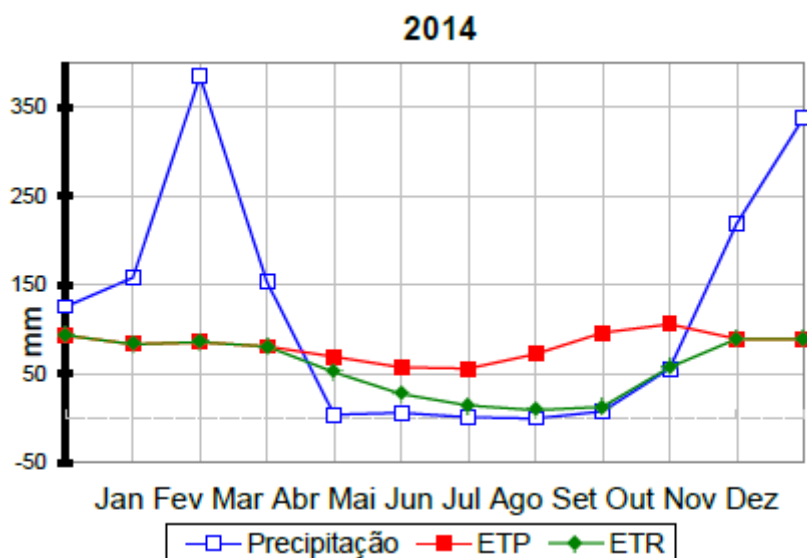


Figura 5.3 – Balanço Hídrico Normal Mensal referente ao ano de 2015.

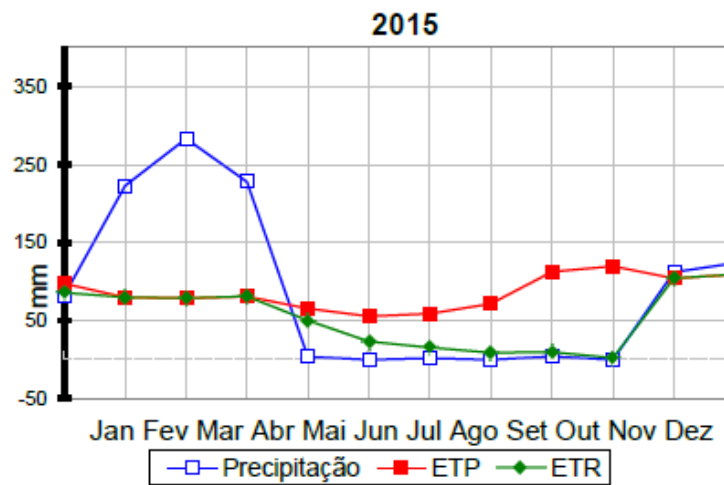


Figura 5.4 – Balanço Hídrico Normal Mensal referente ao ano de 2016.

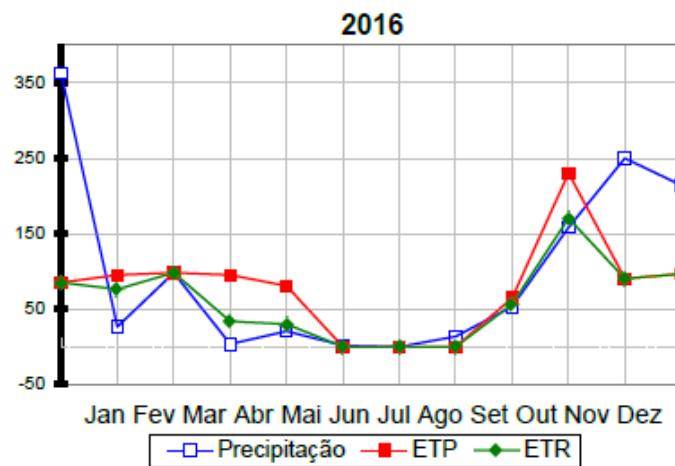
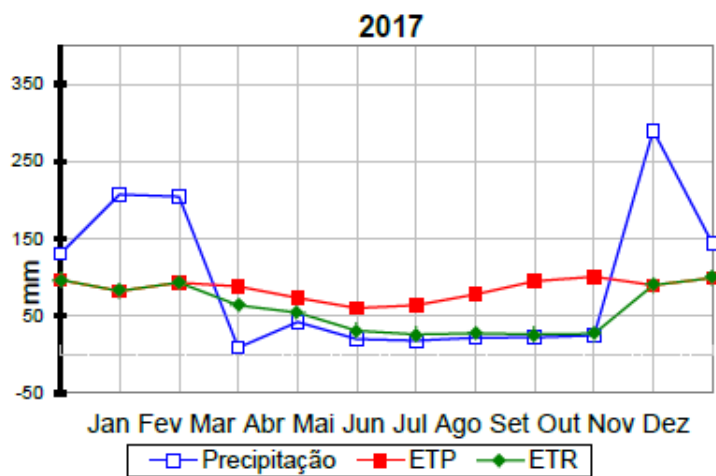


Figura 5.5 – Balanço Hídrico Normal Mensal referente ao ano de 2017.



Em relação à precipitação, é tabelado a seguir (Tabela 5.1) o total precipitado mensal e anual, em milímetros (mm), para os cinco anos

Tabela 5.1 – Precipitação mensal e total anual para os anos de 2013 a 2017, em milímetros.

	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Janeiro</b>	270,40	125,60	82,20	363,00	130,20
<b>Fevereiro</b>	129,40	158,40	223,00	26,60	206,80
<b>Março</b>	208,20	384,40	283,20	98,20	204,20
<b>Abril</b>	89,20	153,20	227,80	3,60	8,40
<b>Mai</b>	26,00	4,20	3,80	20,80	41,60
<b>Junho</b>	47,60	6,60	0,00	1,80	19,50
<b>Julho</b>	0,00	1,20	2,00	0,00	17,53
<b>Agosto</b>	1,00	0,00	0,00	13,60	21,17
<b>Setembro</b>	46,60	8,00	4,00	53,40	21,83
<b>Outubro</b>	151,40	56,00	0,00	158,40	24,53
<b>Novembro</b>	211,20	219,00	112,20	250,20	289,80
<b>Dezembro</b>	343,40	338,20	123,80	214,40	143,20
<b>Total</b>	1.524,40	1.454,80	1.062,00	1.213,01	1.128,76

A região se caracterizou por precipitação anual média de 1.276,6mm, tendo os maiores índices pluviométricos sido registrados nos dois primeiros anos. O menor valor de precipitação anual, 1.062mm, medido no ano de 2015. Além de 2015, os anos de 2016 e 2017 também apresentaram valores abaixo da média, sendo eles respectivamente 1.213,01mm e 1.128,76mm.

De forma geral, todos os gráficos mostram que a precipitação se concentra no primeiro e no último trimestre de cada ano. O maior valor averiguado, 384mm, se deu em março de 2014, mês com média de 235,64mm, maior média dentro dos cinco anos.

Julho é apresentado como o mês com menores índices pluviométricos, tendo média de 4,14mm. O maior índice deste mês foi registrado no ano de 2017 (17,53mm), e em dois dos anos do estudo, 2013 e 2016, não houve chuva registrada.

O valor de referência que consta na última Normal Climatológica do Brasil (1981-2010) para a Estação Brasília, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), é de 1477,4mm precipitados anualmente. Em comparação, o ano de 2013

foi o único em que houve chuva acima da média, com 1.524,4mm. Além disso, o valor médio dos cinco anos (2013 a 2017), 1.276,6mm, fica abaixo da Normal Climatológica em questão, sendo 2015 o ano em que houve menor precipitação registrada, 1.062mm.

O gráfico de Balanço Hídrico Normal mensal traz também Evapotranspiração Real (ETR) e Evapotranspiração Potencial (ETP). ETR é aquela que ocorre numa superfície vegetada, independentemente de sua área, de seu porte e das condições de umidade do solo. Já ETP é calculada para uma superfície uma extensa superfície vegetada, em crescimento ativo e cobrindo totalmente um terreno bem suprido de umidade, ou seja, em nenhum instante a demanda atmosférica é restringida por falta d'água no solo (Tomasella e Rossato, 2005).

Seguindo suas próprias definições, o que se observa nos gráficos de forma geral é uma Evapotranspiração Potencial maior ou igual a Evapotranspiração Real. Ambas apresentam relação direta com a precipitação, ou seja, a evapotranspiração é menor nos meses em que chove menos.

A Evapotranspiração Real se mantém em valores menores, entre aproximadamente 0 e 50mm, no período de seca, incluindo nos anos de 2013 a 2017 os meses de maio, junho, julho e agosto. A Evapotranspiração Potencial registrou valores aproximados ou maiores que 50mm em todo o período do estudo, com exceção nos meses de junho, julho e agosto de 2016. Em meses onde a precipitação ultrapassa 100mm, a tendência é que ETR e ETP se igualem.

As representações gráficas mostram como se deu a dinâmica de entrada e saída de água do solo, tendo como entradas precipitação (mm) e temperatura média (°C), disponibilizados pelo INMET. Entretanto, existe um número significativo de horas por ano em que não houve registro de dados (Tabela 5.2). Por exemplo, para o mês de setembro de 2015, estão ausentes 237 medições de um total possível de 720, o que significa dizer que 1/3 das medições climatológicas referentes a esse mês não foram realizadas.

Tabela 5.2 – Número de horas onde não houve registro dos dados.

	2013	2014	2015	2016	2017
Janeiro	60	0	0	0	4
Fevereiro	0	0	0	0	27
Março	18	0	0	17	12
Abril	0	0	0	66	2
Maio	0	0	0	43	2
Junho	2	0	0	0	4
Julho	1	0	0	0	0
Agosto	0	0	84	0	10
Setembro	0	0	237	0	45
Outubro	0	0	83	21	22
Novembro	0	0	137	42	28
Dezembro	0	0	0	12	123
Total anual	81	0	541	201	279

Foram também obtidos gráficos registrando deficiente hídrico (DEF) ou excedente hídrico (EXC), conforme resultado apresentado nas figuras 5.6 a 5.10.

Figura 5.6 – Extrato do Balanço Hídrico Mensal referente ao ano de 2013.

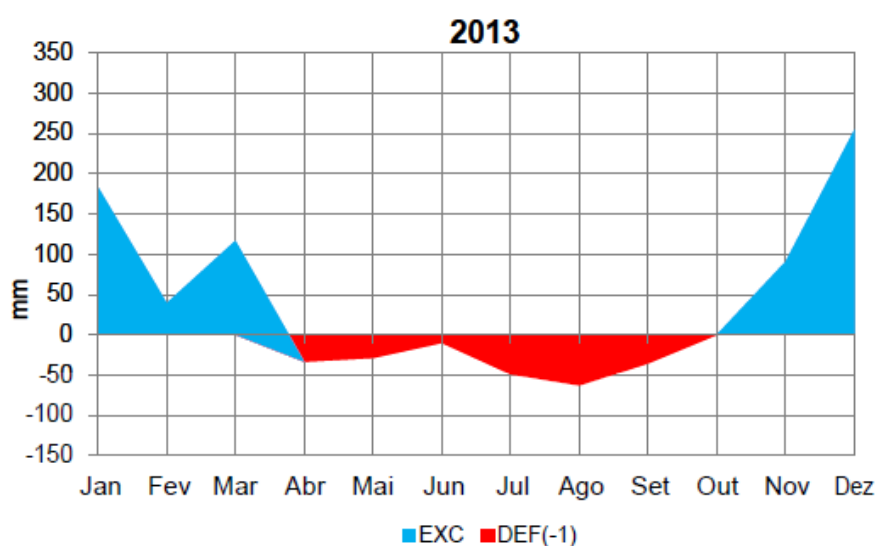




Figura 5.7 – Extrato do Balanço Hídrico Mensal referente ao ano de 2014.

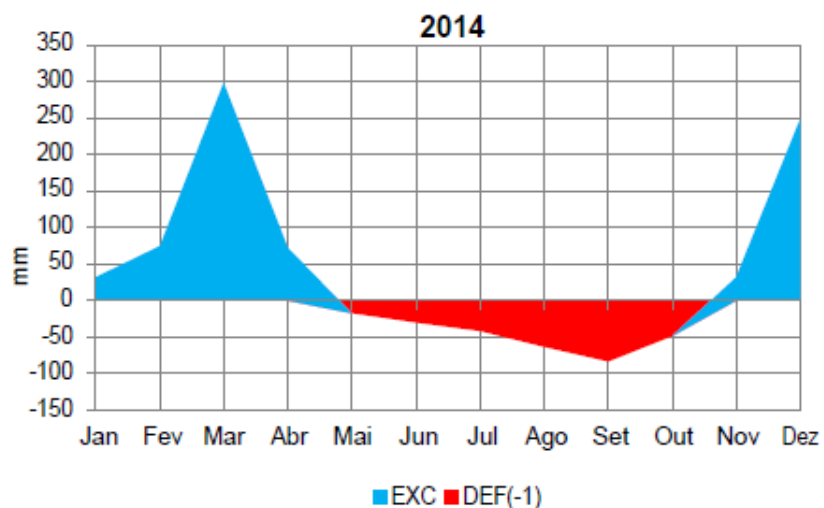


Figura 5.8 – Extrato do Balanço Hídrico Mensal referente ao ano de 2015.

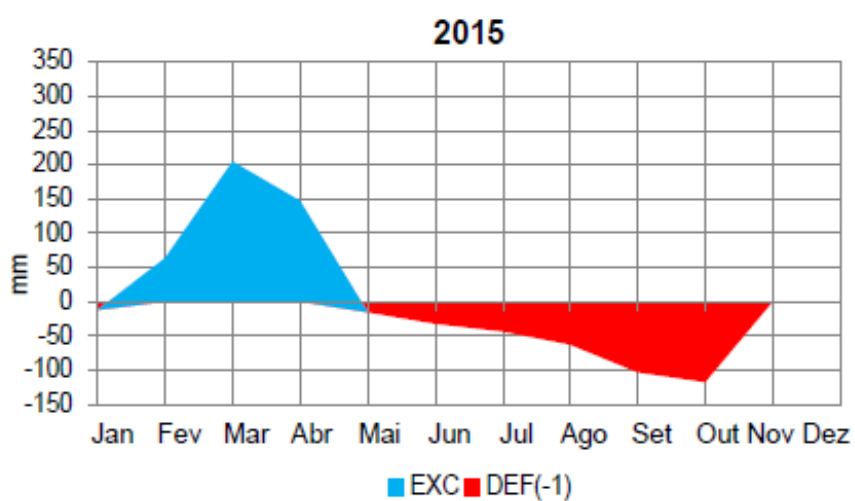


Figura 5.9 – Extrato do Balanço Hídrico Mensal referente ao ano de 2016.

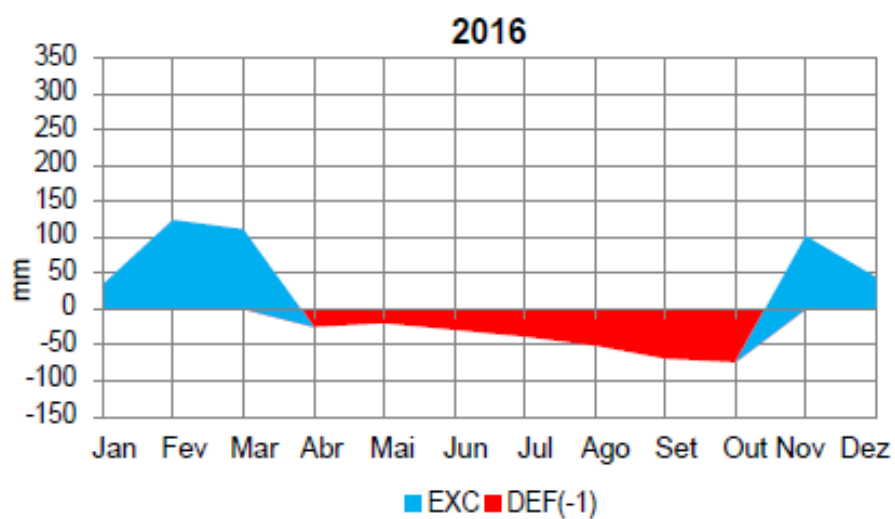
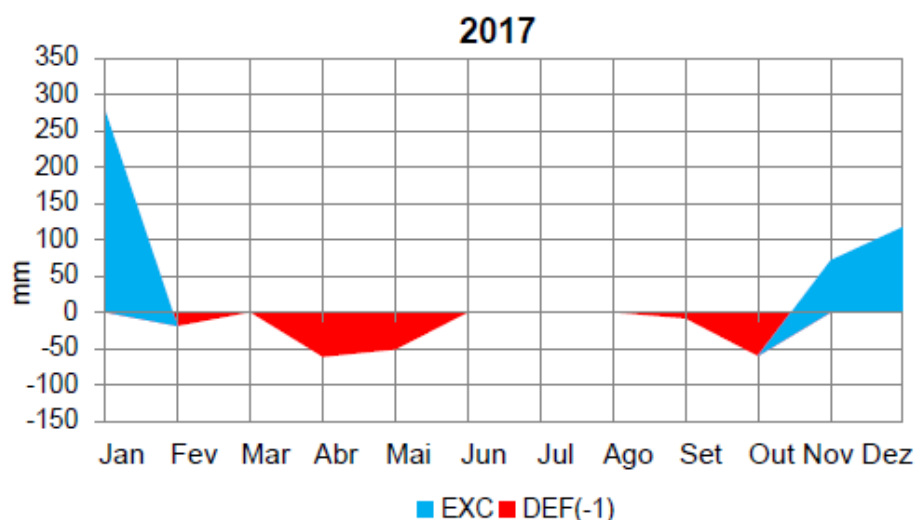


Figura 5.10 – Extrato do Balanço Hídrico Mensal referente ao ano de 2017.



Os resultados dos Extratos do Balanço Hídrico Mensal são tabelados a seguir, para fim de análise quantitativa (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Deficientes e excedentes hídricos para os anos de 2013 a 2017, em milímetros.

	2013		2014		2015		2016		2017	
	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC
<b>Janeiro</b>	0,0	183,5	0,0	32,2	12	0,0	0,0	34	0,0	277,8
<b>Fevereiro</b>	0,0	39,7	0,0	74,9	0,0	63,5	0,0	124,8	19	0,0
<b>Março</b>	0,0	116,8	0,0	298,6	0,0	204,7	0,0	111,3	0,0	0,0
<b>Abril</b>	33,3	0,0	0,0	72,4	0,0	147	24,7	0,0	61,3	0,0
<b>Maio</b>	28,6	0,0	17,3	0,0	15,7	0,0	19,4	0,0	51	0,0
<b>Junho</b>	10	0,0	30,1	0,0	32,6	0,0	29,5	0,0	0,0	0,0
<b>Julho</b>	48,8	0,0	41,7	0,0	43,7	0,0	38,2	0,0	0,0	0,0
<b>Agosto</b>	63	0,0	63,1	0,0	62,9	0,0	50,7	0,0	0,0	0,0
<b>Setembro</b>	35,3	0,0	83,4	0,0	103	0,0	68,8	0,0	8,2	0,0
<b>Outubro</b>	0,0	0,0	48,5	0,0	117,7	0,0	74	0,0	59,9	0,0
<b>Novembro</b>	0,0	91,2	0,0	31,8	0,0	0,0	0,0	102,1	0,0	71,5
<b>Dezembro</b>	0,0	255	0,0	248,8	0,0	0,0	0,0	44,3	0,0	117,8
<b>Total</b>	219	686,3	284,2	758,6	387,7	415,2	305,2	416,4	199,4	467,1

De modo geral, todos os anos do estudo apresentaram valores de excedente hídrico superiores aos déficits. Considerando-se os cinco anos, foram somados 2.743,6mm de EXC e 1.395,5mm de DEF. Entretanto, apesar de haver prevalência numérica do excedente, ele não é verificado na maioria dos meses.

Houve déficit registrado em 30 dos 60 meses (50% do total), concentrado nos meses de abril a outubro. Além disso, em 5 dos 60 meses não houve situação de excedente nem deficiência. Desta forma, há EXC em aproximadamente 42% do tempo total.

Os anos em que houve maior excedente foram 2014 e 2013, com 758,6mm e 686,3mm, respectivamente. O maior valor registrado foi 298,6mm em março de 2014.

Já as maiores deficiências hídricas pertencem aos anos de 2015 (387,7mm) e 2016 (305,2mm), sendo o maior valor mensal 117,7mm, verificado em outubro de 2015, mesmo ano em que, combinados os valores totais de DEF e EXC, existiu menor diferença: apenas 27,5mm.

Em se tratando de média mensal para cada ano (valor total anual dividido entre os 12 meses do ano), os maiores valores de excedente se encontram nos anos iniciais, 2013 e 2014, sendo eles, respectivamente, 57,2mm e 63,2mm. As médias mensais são menores nos anos que seguem, sendo cerca de 36mm.

O que se verifica são períodos de excedentes densos concentrados nos três primeiros e nos dois últimos meses do ano. Isso ocorre porque no começo da estação chuvosa, as chuvas iniciais são empregadas na reposição da água do solo e na evapotranspiração real, até que o solo esteja plenamente abastecido, quando então aparece excedente hídrico.

No início do período de estiagem, verifica-se a retirada de água do solo, onde começa a ocorrência de deficiência hídrica na região, que se estende até que volte a estação chuvosa e esta recarregue o solo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O balanço hídrico desenvolvido por Thornthwaite & Mather é uma ferramenta importante na visualização e gestão da dinâmica hidrológica em diferentes escalas espaciais. Esse instrumento, a partir da análise das variáveis meteorológicas temperatura e precipitação permitiu o cálculo do balanço hídrico e posterior comparação dos dados referentes à Estação Meteorológica de Águas Emendadas nos anos de 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017.

Nos anos do estudo, a região se caracterizou por precipitação total anual média de 1.276,6mm, com notável distribuição sazonal das chuvas com duas estações climáticas bem definidas: chuvosa e seca. A precipitação se concentra no primeiro e no último trimestre de cada ano.

Durante os cinco anos em questão, em relação à média dos índices pluviométricos mensais, março foi o mês com os maiores valores, 235,64mm, enquanto julho foi o mês que menos choveu, com 4,4mm.

Além disso, o valor médio dos cinco anos na Esecac (2013 a 2017), 1.276,6mm, fica abaixo da última Normal Climatológica do Distrito Federal para a Estação Brasília (1981- 2010), a qual registrou 1477,4mm precipitados ao ano. Apesar da referência, as estações se encontram em contextos geomorfológicos diferentes, o que explica essa diferença nos valores.

Em relação à evapotranspiração, o que se observa nos gráficos de forma geral é uma evapotranspiração potencial maior ou igual a evapotranspiração real, ambas apresentando relação direta com a precipitação, ou seja, a evapotranspiração é menor nos meses em que chove menos.

A Evapotranspiração Potencial, alvo da equação de Thornthwaite, registrou valores aproximados ou maiores que 50mm em todo o período do estudo.

Quanto à excedência (EXC) ou deficiência hídrica (DEF), foram averiguados valores de excedente hídrico superiores aos déficits. Considerando-se os cinco anos, foram somados 2.743,6mm de EXC e 1.395,5mm de DEF.

Entretanto, houve deficiência hídrica em metade do tempo em questão (30 meses). Desta forma, o que de fato ocorre são períodos de excedentes densos seguidos por períodos longos de déficit. O período de excedente hídrico ocorreu nos três primeiros e nos dos últimos meses do ano, e a deficiência hídrica se concentrou nos meses de abril a outubro.

Através das representações gráficas e dados aqui apresentados é possível delimitar períodos para ações de gerenciamento hídrico na região da Esecae, bem como na cidade de Planaltina DF, compatibilizando a oferta com as demandas em campanhas para redução de consumo nos meses de seca, além de poder auxiliar na definição de um calendário de racionamento mais efetivo.

## REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas. **Encarte Especial sobre a crise hídrica.** Brasília: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2014.2015.

BORSATO, F.H; MARTONI, A.M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no município de Maringá, estado do Paraná. Rev. **Acta Scientiarum. Humanand Social Science.** Maringá, v.26, n.2, p 273-285. 2004.

CARVALHO, R. D. Meio Físico; Localização da unidade. In: FONSECA, F. O. (Org.). **Águas Emendadas.** Brasília: Seduma, 2008. p. 95-100.

CODEPLAN. **Atlas do Distrito Federal.** 1. ed. Brasília: GDF, 1984.

FISCH, G.; HORIKOSHI, A. S. Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no município de Taubaté, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água,** Taubaté, v. 2, n. 2, p. 32-46, jul./dez. 2007.

FONSECA, F. O (Org). **Águas Emendadas.** Brasília: Seduma, 2008. 544 p.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Gráficos Climatológicos (1931-1960 e 1961-1990).** 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>. Acesso em 11 de abr. 2018.

KARMANN, I. Água: ciclo e ação geológica. In: TEIXEIRA, W; FAIRCHILD, T. R; TODELO, M. C. M; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra.** São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008.

LIMA, J. M. F.; SILVA, E. M. Meio Físico; Hidrografia. In: FONSECA, F. O. (Org.). **Águas Emendadas.** Brasília: Seduma, 2008. p.110-116.

MACHADO, J. Prefácio. In: FONSECA, F. O. (Org.) **Águas Emendadas.** Brasília: Seduma, 2008. p. 15.

MAIA, J. M. F.; BAPTISTA, G. M. M. Meio Físico; Clima. In: FONSECA, F. O. (Org.). **Águas Emendadas.** Brasília: Seduma, 2008. P. 101-109.

MARTINS, E. S.; REATTO, A.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. **Evolução geomorfológica do Distrito Federal.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

MESQUITA, D. F. de. **Análise de dados meteorológicos na gestão de recursos hídricos – Balanço hídrico do Distrito Federal (1984 – 2014)**. MONOGRAFIA. Brasília: Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, 2016.

NASCIMENTO, C. T. C. do; ALMEIDA, A. de. Distribuição temporal dos veranicos entre 2012 e 2015 na região de Planaltina Distrito Federal. XXI **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Brasília, 2015.

OLIVEIRA, L. L.; NEVES. D. G.; CUNHA. A. C.; JESUS. E. S.; AMANJÁS. J.; MARQUES. A. D.; **Balanço hídrico para o município de Macapá-AP para o ano 2006 no setor costeiro estuarino**. Macapá: Núcleo de Hidrometeorologia e Energia Renováveis NHMET/IEPA, 2007.

PEREIRA, A. R. **Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather**.

Departamento de Ciências Exatas, ESALQ-USP. 2005.

PGIRH. **Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal** - 2012. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/>>. Acesso em 13 de mar. 2018.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. **Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.6, p.133-137,1998.



SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; ALFONSI, R.R.; CARAMORI, P.H.; SWART, S. **Balances Hídricos Climatológicos do Brasil - 500 balances hídricos de localidades brasileiras**. Piracicaba: ESALQ, 1999. 1 CD-ROM.

TOMASELLA, J.; ROSSATO, L. **BALANÇO HÍDRICO. Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas**. São José dos Campos: INPE, 2005.

UNESCO. **Mexico City Declaration on Cultural Policies World Conference on Cultural Policies. Mexico City, 26 July - 6 August. 1982.**

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance. Climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104 p., 1955.

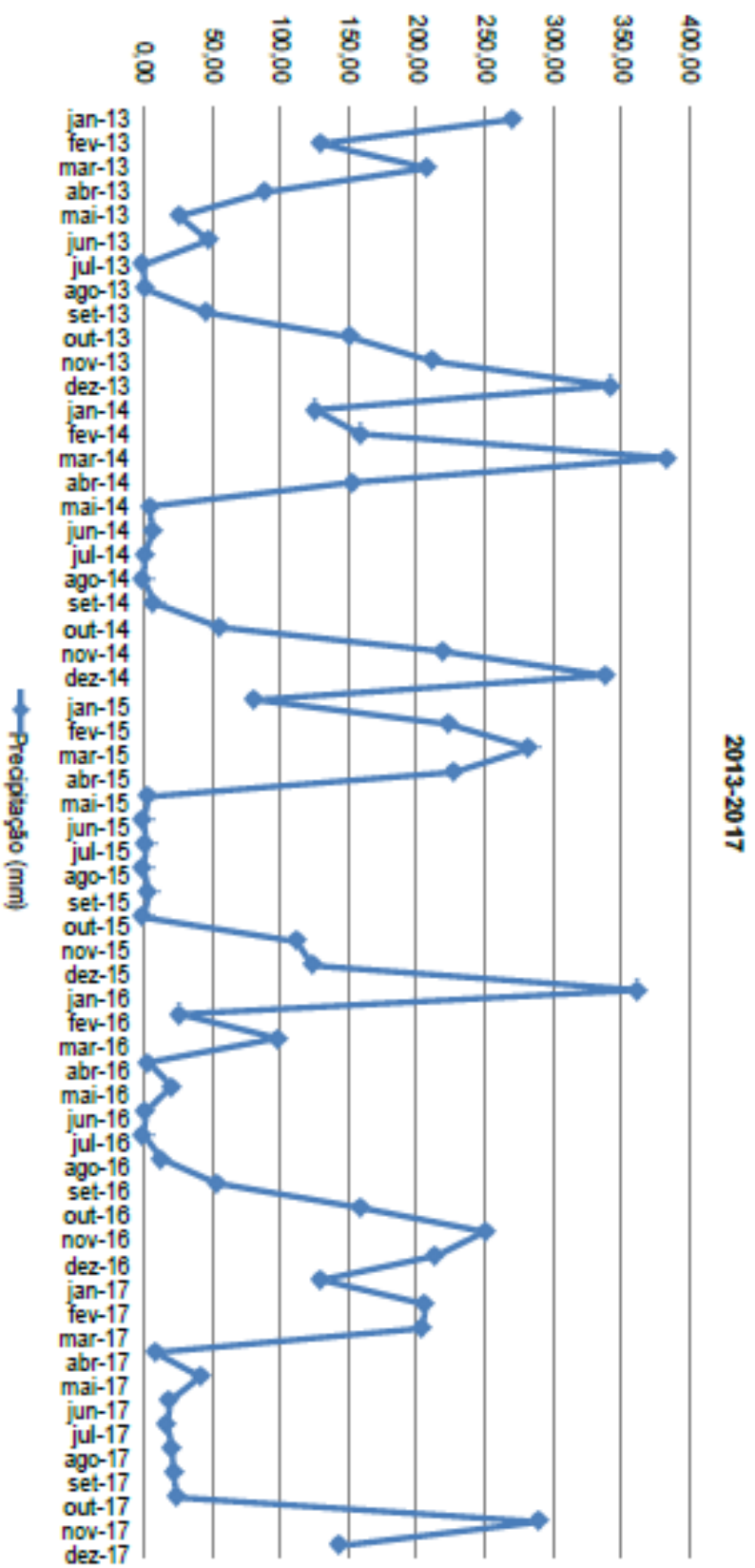
TUCCI, C. E. M.; MENDES, C.A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: MMA, 2006. 302p.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, n. 70, p. 24-35, 2006.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Rev. Adm. Púb.**, v.27, n.2, p.5-18, 1993.

## APÊNDICE 1

Figura 1 – Total precipitado mensal para os cinco anos do estudo (2013-2017)



## APÊNDICE 2

Figura 2 – Extrato do balanço hídrico mensal para os cinco anos do estudo (2013-2017)

